2 月 February
2019, 62(2): 233 - 240
昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
http://www.insect.org.cn
doi: 10.16380/j.kcxb.2019.02.010

长白山苔原带昆虫群落组成与时间动态

刘生冬, 孟 昕, 尚军烨, 杨明玥, 孟庆繁*, 高文韬, 王戈戎

(北华大学林学院, 吉林吉林 132013)

摘要:【目的】苔原是一种极地景观类型,本研究调查了长白山苔原带昆虫的物种组成与时间动态,以期为苔原带昆虫保护以及昆虫与苔原植物协同进化研究提供基础依据。【方法】2005 - 2007 年每年6 - 9 月,在长白山北坡、西坡苔原带利用网捕、灯诱、巴氏罐法采集昆虫标本。【结果】2005 - 2007 年从长白山苔原带共获得昆虫标本 4 634 头,隶属于 11 目 105 科 550 种,其中鳞翅目、鞘翅目、膜翅目、双翅目的种类和个体数量较为丰富,这 4 个类群的物种数与个体数的最高峰都出现在 7 月份。对应分析显示,鳞翅目昆虫对7 月份,鞘翅目昆虫对8 和9 月,膜翅目和双翅目昆虫对6 月的适应性较强。苔原带 7 月份昆虫的物种数(382 种)、个体数(2 571 个个体)和多样性指数(4.673)都最高,物种数和个体数在9 月份最低,仅22 种265 个个体。不同月份昆虫的物种数与个体数之间呈显著正相关(R = 0.992)。不同月份间昆虫的相似性低(相似性系数 < 0.20)。【结论】长白山苔原带昆虫多样性较低,7 月为昆虫的活跃高峰期,9 月昆虫的个体数和物种数均较少。鳞翅目昆虫的物种最丰富,对7 月份气候的适应性相对较强,鞘翅目对季节变化的适应能力强于其他类群,在维持苔原带生态平衡中起着重要作用。

关键词: 昆虫; 物种多样性; 群落; 时间动态; 苔原带; 长白山

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2019)02-0233-08

Composition and temporal dynamics of insect community in the tundra zone in Changbai Mountains, Northeast China

LIU Sheng-Dong, MENG Xin, SHANG Jun-Ye, YANG Ming-Yue, MENG Qing-Fan*, GAO Wen-Tao, WANG Ge-Rong (Forestry College, Beihua University, Jilin, Jilin 132013, China)

Abstract:【Aim】Tundra is a polar natural landscape. The species composition and temporal dynamics of insects were investigated in the tundra zone in Changbai Mountains, Northeast China for providing a basis for the protection of insects and the research of co-evolution of insects and plants in tundra.【Methods】During 2005 - 2007, insect individuals were collected in the west and north slopes within the tundra zone in Changbai Mountains by using the net, lamp and pitfall methods from June to September in each year.【Results】In total, 4 634 specimens belonging to 550 species of 105 families of 11 orders were collected in the tundra zone in Changbai Mountains during 2005 - 2007. The species numbers and individual numbers of Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera and Diptera were dominant, and their peaks occurred in July. The correspondence analysis showed that Lepidoptera was more adaptable to July, Coleoptera was more adaptable to August and September, and Hymenoptera and Diptera were more adaptable to June, respectively. The species number (382), individual number (2 571) and diversity

基金项目: 国家科技部科技支撑计划项目(2014Y110600); 国家自然科学基金项目(30271092); 吉林省科技引导计划国际科技合作项目(20140414055GH); 吉林省教育厅科学技术研究规划项目(JJKH20190651KJ, JJKH20180349KJ); 吉林省大学生创新创业训练计划项目(201811923002); 北华大学博士科研启动基金项目; 北华大学青年科研创新团队培育计划

作者简介: 刘生冬, 男, 1979 年6 月生, 吉林德惠人, 博士, 讲师, 研究方向为昆虫群落生态学, E-mail: shengdongliu@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: qingfanmeng@163.com

收稿日期 Received: 2018-07-02; 接受日期 Accepted: 2018-12-03

index (4.673) of insects were the highest in July in tundra, while the species number and the individual number were the lowest in September, with only 22 species and 265 individuals. The species number and the individual number of insects in tundra were significantly positively correlated (R = 0.992). The similarity of insects was very low between different months, with the similarity coefficient lower than 0.20.【Conclusion】The diversity of insects is low in the tundra zone in Changbai Mountains. The occurrence peak of insects is in July, and the individual number and the species number are the least in September. The species richness of Lepidoptera is the highest in the tundra, and Lepidoptera shows relatively strong adaptability to July with better environmental conditions. The Coleoptera insects adapt to environmental changes better than other groups and play an important role in maintaining the ecological balance of the tundra zone.

Key words: Insect; species diversity; community; temporal dynamics; tundra zone; Changbai Mountains

苔原(tundra)也叫冻原,是生长在寒冷永久冻土上的一种极端环境下的生物群落,是冷湿型极地自然景观,多以矮灌丛、草本、地衣与苔藓类组成。全世界现代苔原仅分布于北半球,主要集中分布在北极地区,在北半球中高纬度和中纬度地区有少量的山地苔原和高山苔原分布,在我国只有在长白山和青藏高原有苔原的分布(黄锡畴, 1999; 孙广友, 2004)。由于长白山位于欧亚大陆的东部沿海,苔原更多地受到大陆性干旱气候影响,这不仅为我国增添了植被极地类型,而且还对深入研究第四纪冰川时期北温带植被的迁移具有重要价值(钱宏, 1992; 黄锡畴, 1999; 孙广友, 2004)。

北极苔原带的昆虫物种多样性很低(Downes, 1962; Jacobs *et al*., 2002)。苔原带极端寒冷的冬季、生长季节很短、食物资源较少、土壤贫瘠、辐射较多是造成昆虫多样性低的主要因素。在这些因素中,最重要的是年平均温度低,限制了昆虫的生长、繁殖,威胁了它们的越冬存活,同时,也阻止了一些昆虫的侵入,限制了部分种群个体数量的增加,并且,较短的生长活动时间限制了昆虫个体的大小和发生世代数,增加了昆虫物种灭绝的机会(Franks, 1985; Strathdee and Bale, 1998)。由于温度过低,也时常能够发现一些变异的无翅苔原昆虫(Chernov and Matveyeva, 1997)。有关长白山苔原带昆虫的研究较少,杨金宽(1980)较早记载苔原带共采集昆虫 113 头;现有零散报道主要涉及苔原带一些访花昆虫、蛾类、蝶类等(李雄权等, 1986; 杨金宽, 1992; 周繇, 2003; 任炳忠等, 2003, 2006; 张彦焯, 2005; 高文韬等, 2005; 刘生冬等, 2006, 2007; 杜秀娟等, 2006; 郝锡联等, 2006; 施莹等, 2017)。为适应恶劣的环境条件,苔原带雌性蝗虫的前翅、后足股节、体长与其他生境中的种类相比有所变化,且多以一些小型和无翅的种类为主(杨金宽, 1980; 孙晓玲等, 2006)。由于交通不便,自然条件恶劣,目前缺乏对长白山苔原带这一景观类型中昆虫多样性的系统研究。本研究通过 2005 - 2007 年 3 年的调查,揭示了长白山苔原带昆虫群落的组成和结构,丰富了苔原带这一景观生物多样性研究,为研究昆虫在维持苔原带生物多样性以及昆虫对苔原带植被演替的作用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

长白山自然保护区位于吉林省东南部,海拔 720 ~ 2 691 m,面积 196 400 hm^2,苔原带位于长白山保护区的最上部,为北坡海拔 2 000 m 以及西坡和南坡2 100 m以上区域。苔原带常年风大,日照充足,紫外线强。6 - 9 月份是苔原带植物的生长季,期间年均降水量可达 958 mm。这里冬季严寒而漫长,最冷 1 月的平均气温为 -23.2℃。夏季 3 个月平均温度 6.7℃, 8 月平均最高温度为 8.8℃,年平均温 -6℃左右。该苔原带主要为薄层山地苔原土,土壤贫瘠、剖面较薄,平均约 16 cm。植物群落简单,种类较少,生长期主要集中在 7 和 8 月份,植物花期主要集中在 7 月。主要植被有笃斯越橘 *Vaccinium uliginosum*、牛皮杜鹃 *Rhododendron chrysanthum*、苞叶杜鹃 *Rhododendron redowskianum*、毛毡杜鹃 *Rhododendron confertissimum*、宽叶仙女木 *Dryas octopetala* var. *asiatica*、松毛翠 *Phyllodoce caerulea* 等。另外,还有苔原带代表性植物长白耧斗菜 *Aguilegia amurensis*、长白米奴草 *Minuartia macrocarpa*、

高山红景天 *Rhodiola sachalinensis* 等(黄锡畴等, 1959; 钱宏, 1992)。

1.2 样地设置

本研究采用样地和样线相结合的方法采集昆虫,根据长白山苔原带的植被特点,在长白山北坡海拔2 200和2 400 m、西坡海拔2 300和2 500 m各设置1个样地,共4个样地,样地大小为50 m × 100 m,为减少在样地内网扫一条对角线时对另一条对角线中昆虫的影响,同时尽可能地多采集昆虫标本,在距离每块样地边缘20 m,沿垂直等高线的方向,设定一条由下到上长约100 m的样线。

1.3 昆虫群落调查方法

昆虫采集时间为2005 – 2007年每年6, 7, 8和9月中旬。选择晴天时进行调查,如遇阴雨,顺延1 d,每次调查共约6 d。

1.3.1 网捕法:在4个样地内,沿两条对角线各网扫150次,并沿样线每步(约70 cm)网扫1次,捕捉所有网扫到的昆虫,每块样地、样线每次调查1 d,每天网扫一次,时间为午间12:00 – 14:00。

1.3.2 灯诱法:在样地中央放置一个支架,支架上面放置一个250 W汞灯,幕布选用1.5 m × 2.0 m的白化纤布,每块样地每次调查灯诱1晚,时间为晚上19:00 – 23:00,采集所有灯诱到的昆虫。

1.3.3 巴氏罐诱法:地表甲虫的采集采用巴氏罐诱法,用一次性塑料水杯(高9 cm,口径7.15 cm),作为巴氏罐诱法容器,杯壁上方1/4处打一个小孔(直径约为3 mm),以免由于雨水过多使标本流失,每个诱杯中放入约10 g腐肉诱剂。每个样地的顶点和中心点各放置5个诱杯,间距约1 m,每个样地共设置25个诱杯,每次调查诱杯放置时间3 d,采集所有诱集到的昆虫。

1.4 标本鉴定

将用上述取样方法所得到的昆虫标本全部带回实验室进行鉴定、分类统计分析。部分蛾类由东北林业大学韩辉林教授鉴定,天牛和部分类群由北华大学高文韬副教授鉴定,所有标本保存在北华大学昆虫标本室。

1.5 数据分析

(1)物种多样性指数采用Shannon-Wiener多样性指数 $H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i$,式中:$P_i$ 为第 i 个种个体数占总个体数的比重,S 为物种数。

(2)均匀度指数采用Pielou均匀度指数 $E = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{H'}{\ln S}$,其中:$H'$ 为Shannon-Wiener多样性指数,S 为物种数。

(3)相似性系数采用Jaccard的相似性系数公式 $I = C/(A + B - C)$,式中:A 和 B 分别为2种生境类型中的物种数,C 为2种生境类型中共有的物种数。根据Jaccard的相似性系数原理,当 I 为0.00 ~ 0.25时,为极不相似;I 为0.25 ~ 0.50时,为中等不相似;I 为0.50 ~ 0.75时,为中等相似;I 为0.75 ~ 1.00时,为极相似。

数据利用SPSS进行处理,通过Canoco 4.5进行对应分析(CA)。

2 结果

2.1 长白山苔原带昆虫群落结构

2.1.1 苔原带昆虫群落物种组成:2005 – 2007年在长白山苔原带共采集4 634头昆虫标本,隶属于11目105科550种,其组成情况见表1。

表1 2005 – 2007年长白山苔原带昆虫组成

Table 1 Composition of insects in the tundra zone in Changbai Mountains during 2005 – 2007

目 Order	*F*	*F%*	*S*	*S%*	*N*	*N%*
鳞翅目 Lepidoptera	18	17.15	149	27.09	1 687	36.41
鞘翅目 Coleoptera	28	26.67	137	24.91	1 259	27.17
膜翅目 Hymenoptera	18	17.14	137	24.91	483	10.42
双翅目 Diptera	19	18.10	75	13.64	570	12.30
半翅目 Hemiptera	10	9.52	32	5.82	233	5.03
脉翅目 Neuroptera	2	1.90	7	1.27	49	1.06
直翅目 Orthoptera	3	2.86	5	0.91	340	7.34
襀翅目 Plecoptera	3	2.86	4	0.73	8	0.17
毛翅目 Trichoptera	2	1.90	2	0.36	2	0.04
蜻蜓目 Odonata	1	0.95	1	0.18	2	0.04
蜉蝣目 Ephemeroptera	1	0.95	1	0.18	1	0.02
合计 Total	105	100	550	100	4 634	100

F: 科数 Family number; *F%*: 科数比重 Proportion of family number; *S*: 物种数 Species number; *S%*: 物种数比重 Proportion of species number; *N*: 个体数 Individual number; *N%*: 个体数比重 Proportion of individual number. 所有数据为3年的数量之和。Data are the sum of values in three years. 表2同 The same for Table 2.

从表1可以看出,在苔原带3年累积采集到的鞘翅目、双翅目、鳞翅目、膜翅目的科、物种和个体数均较多,都超过了科总数、种总数和个体总数的10%,这4个类群的科数、物种数、个体数合计分别占到各自总数的79.06%, 90.55%和86.30%。其中鞘翅目采集到28科,为科数最多的类群;鳞翅目采集到149种1 687个个体,是昆虫物种和个体数

最多的类群。在这 4 个类群中，鳞翅目以夜蛾科(Noctuidae)、尺蛾科(Geometridae)的物种数较为丰富，分别占鳞翅目物种总数的 55.03% 和 13.42%，其中，绿组夜蛾 *Anaplectoides prasina*、一色兜夜蛾 *Cosmia unicolor*、黄绿组夜蛾 *Anaplectoides virens* 的个体数量较多，分别占鳞翅目个体总数的 19.98%，8.65% 和 6.88%。鞘翅目中叩甲科(Elateridae)、步甲科(Carabidae)、天牛科(Cerambycidae)、象甲科(Curculionidae)的物种数较多，分别占鞘翅目昆虫物种总数的 13.87%，13.14%，11.68% 和 10.95%，步甲 *Carabus opaculus*、黑埋葬甲 *Thanatophilus auripilosa*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的个体数量较多，分别占鞘翅目个体总数的 14.14%，9.29% 和 7.78%。膜翅目中姬蜂科(Ichneumonidae)和叶蜂科(Tenthredinidae)物种数较多，分别占膜翅目物种总数的 37.23% 和 29.93%，散熊蜂 *Bombus spradicus*、密林熊蜂 *Bombus patagiatus* 的个体数较多，分另占膜翅目个体数的 7.25% 和 6.63%。双翅目中食蚜蝇科(Syrphidae)、花蝇科(Anthomyiidae)的物种数占优势，分别占双翅目昆虫物种总数的 38.67% 和 18.67%，以溪舞虻 Clinocerinae sp. 和野食蚜蝇 *Eyrphus torrus* 的个体数量较多，分别占双翅目昆虫的 42.98% 和 7.72%。在其他类群中，采集到的襀翅目、毛翅目、蜻蜓目、蜉蝣目的物种数和个体数都较少，均不超过各自总数的 1%；半翅目、脉翅目、直翅目的个体数分别占总数的 5.03%，1.06% 和 7.37%。

2.1.2 苔原带昆虫种-多度分布：在本次调查中，长白山苔原带共采集昆虫标本 4 634 头，将昆虫的个体数按 Preston 方法，取以 2 为底对数的倍程进行重组(赵志模和郭依泉，1990)。其累积种-多度分布见图 1，其趋势线公式为 $y = -105.68 \ln x + 211.55$ ($R = 0.978$)。

在分割线段、等比级数和对数级数、对数正态分布和截尾负二项式分布 3 个数学模型中，苔原带昆虫种-多度关系比较接近对数级数模型，即生态位优先占领假说。按这一假说，群落中物种对资源的占有一般作如下分配：第 1 位的优势种优先占领有限资源的一定部分，第 2 位的优势种又占领所余下资源的一定部分，以此类推。这种分布多出现于群落生境严酷、物种数相对较少的群落(赵志模和郭依泉，1990)。

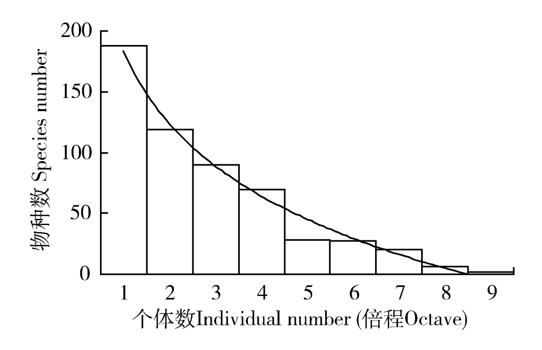


图 1 2005–2007 年长白山苔原带昆虫累积种-多度分布

Fig. 1 Accumulated distribution of species-abundance of insects in the tundra zone in Changbai Mountains during 2005–2007

将昆虫的个体数取以 2 为底对数的倍程进行重组(赵志模和郭依泉，1990)。The number of individuals of insects was reorganized by taking the logarithm of base 2 (Zhao and Guo, 1990). 1: 1 个个体 One individual; 2: 2~3 个个体 2–3 individuals; 3: 4~7 个个体 4–7 individuals; 4: 8~15 个个体 8–15 individuals; 5: 16~31 个体 16–31 individuals; 6: 32~63 个个体 32–63 individuals; 7: 64~127 个个体 64–127 individuals; 8: 128~255 个个体 128–255 individuals; 9: 256~511 个个体 256–511 individuals.

2.2 长白山苔原带不同月份昆虫群落组成

2.2.1 苔原带不同月份昆虫群落组成：苔原带各月份昆虫组成具有较大差异，7 月物种数和个体数最高，分别占各自总数的 69.45% 和 55.48%(表 2)。

6 月份苔原带昆虫共 7 个目 151 种，721 个个体，膜翅目、鞘翅目、双翅目、鳞翅目物种数和个体数量较多，4 个类群合计占本月物种总数 94.04% 和个体总数的 97.92%，其中，膜翅目的物种数最多，鞘翅目的个体数最多。7 月份是苔原带昆虫种类和个体数量最多的月份，共 9 个目 78 科 382 种 2 571 个个体。其中，鳞翅目、鞘翅目、双翅目的个体数量超过了总数的 10%，3 个类群合计占本月物种总数 71.47% 和个体总数的 87.98%，鳞翅目的物种数和个体数远高于其他类群。8 月份苔原带昆虫的物种数和个体数较多，仅少于 7 月份，共 9 个目 52 科 174 种1 077个个体，各类群物种数和个体数差异较大，从物种数上看，鳞翅目、鞘翅目、膜翅目、双翅目占优势。从个体数上看，鳞翅目、鞘翅目、直翅目个体数量较多，超过了总数的 10%，3 个类群合计占物种总数的 60.35% 和个体总数的 74.55%。9 月份苔原带昆虫的种类和个体数量较少，共 6 个目 16 科 22 种 265 个个体。其中，鞘翅目、半翅目、直翅目的种类和个体数占优势，3 个类群合计占物种总数的 86.35%，占个体总数的 96.23%。不同月份昆虫的物种数与个体数呈显著正相关($R = 0.992$, $P < 0.05$)。膜翅目、鞘翅目、双翅目、鳞翅目物种数和个体数的最高峰都出现在 7 月份，最低值出现在 9

月份。鳞翅目和鞘翅目的物种数和个体数为 8 月份高于 6 月份。膜翅目的物种数和个体数为 6 月份高于 8 月份，而双翅目昆虫物种数为 8 月份大于 6 月份，个体数为 6 月份大于 8 月份。在 4 个月份中，鳞翅目、鞘翅目、膜翅目、双翅目每个类群的物种数与个体数间都呈显著正相关（$R>0.982$，$P<0.05$）。

表 2　2005－2007 年不同月份长白山苔原带昆虫组成

Table 2　Composition of insects in the tundra zone in Changbai Mountains in different months during 2005－2007

目 Order	6 月 June				7 月 July				8 月 August				9 月 September			
	S	*S*%	*N*	*N*%	*S*	*S*%	*N*	*N*%	*S*	*S*%	*N*	*N*%	*S*	*S*%	*N*	*N*%
鳞翅目 Lepidoptera	25	16.56	130	18.03	122	31.94	1 312	51.02	54	31.04	242	22.47	1	4.55	3	1.13
鞘翅目 Coleoptera	40	26.49	262	36.34	92	24.08	611	23.77	46	26.44	354	32.86	12	54.53	32	12.08
膜翅目 Hymenoptera	62	41.06	173	23.99	83	21.73	232	9.02	33	18.97	77	7.15	1	4.55	1	0.38
双翅目 Diptera	15	9.93	141	19.56	59	15.45	339	13.19	20	11.49	84	7.80	1	4.55	6	2.26
半翅目 Hemiptera	8	5.30	14	1.94	16	4.19	46	1.79	10	5.75	103	9.56	4	18.18	90	33.96
脉翅目 Neuroptera					7	1.83	27	1.05	2	1.15	2	0.19				
直翅目 Orthoptera									5	2.87	207	19.22	3	13.64	133	50.19
襀翅目 Plecoptera					1	0.26	2	0.08	3	1.72	6	0.56				
毛翅目 Trichoptera	1	0.66	1	0.14	1	0.26	1	0.04								
蜻蜓目 Odonata									1	0.57	2	0.19				
蜉蝣目 Ephemeroptera					1	0.26	1	0.04								
合计 Total	151	100	721	100	382	100	2 571	100	174	100	1 077	100	22	100	265	100

2.2.2　苔原带不同月份优势类群对应分析：对应分析能够在一定程度反映物种或类群与环境间的相互关系，以鳞翅目、鞘翅目、膜翅目、双翅目个体数为变量，分析这 4 个优势类群的个体数与各月份的对应关系，结果见图 2。

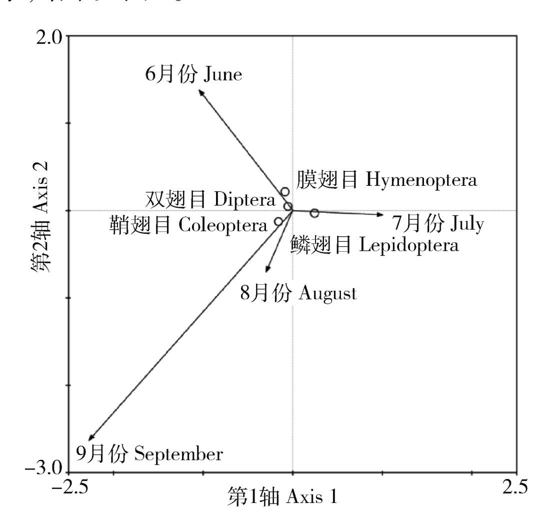


图 2　2005－2007 年长白山苔原带昆虫 4 个优势类个体数与各月份对应分析

Fig. 2　Correspondence analysis of the individual numbers of four dominant groups of insects in the tundra zone in Changbai Mountains in different months during 2005－2007

从图中可以看出，4 个月份的箭头长短各不相同，从 6 月份到 9 月份按顺时针排列。4 个类群对各月份间的适应程度各不相同，显示其对各月份的适应能力具有较大的差异。膜翅目和双翅目与 6 月份的距离较近，显示这两个类群对 6 月份的适应能力高于鞘翅目和鳞翅目。鳞翅目与 7 月份的距离最近，其次是双翅目，显示鳞翅目对 7 月份有较强的适应能力和依赖性，而鞘翅目对 7 月份的依赖程度要低于其他 3 个类群。鞘翅目与 8 月份、9 月份的距离比其他类群都近，显示其对 8 月份和 9 月份的适应能力强于其他类群，其次是双翅目，而鳞翅目和膜翅目的适应能力相对最弱。

2.2.3　苔原带不同月份昆虫多样性变化：对苔原带昆虫各月份物种数、个体数、多样性指数和均匀度进行统计分析，结果见图 3 和图 4。

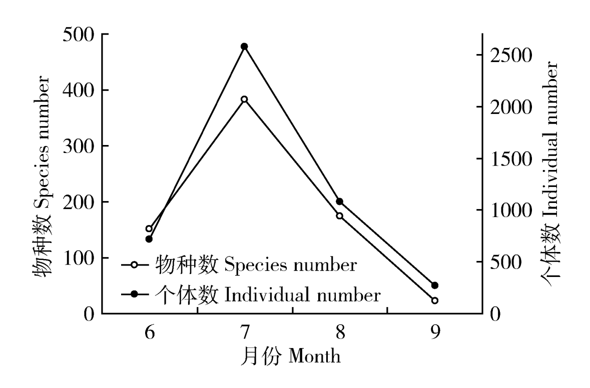


图 3　2005－2007 年不同月份长白山苔原带昆虫物种数和个体数

Fig. 3　Species number and individual number of insects in the tundra zone in Changbai Mountains in different months during 2005－2007

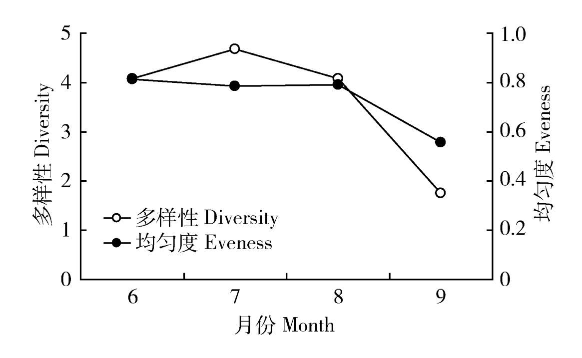


图 4　2005 – 2007 年不同月份长白山苔原带昆虫多样性（Shannon-Wiener 指数）和均匀度（Pielou 指数）

Fig. 4　Diversity (Shannon-Wiener index) and evenness (Pielou index) of insects in the tundra zone in Changbai Mountains in different months during 2005 – 2007

从图 4 中可以看出，7 月份昆虫的物种数和个体数都最多，9 月份都最少，变化趋势相一致，各月份的数量分布差距较大。不同月份间物种数和个体数呈显著正相关（$R = 0.985$, $P < 0.05$）。从图 4 中可以看出，苔原带昆虫物种多样性指数 Shannon-Wiener 指数先升后降，从 6 月份缓慢上升，到 7 月份达最高，到 8 月份略有下降但仍略高于 6 月份，到 9 月份降到最低；均匀度指数 Pielou 指数 6 月份最高，8 月份略高于 7 月份，到 9 月份降到最低点。Pielou 指数与 Shannon-Wiener 指数的变化不同，虽然 7 月份是苔原带昆虫多样性指数最高的月份，但由于 7 月份个别昆虫如绿组夜蛾 *A. prasina* 等的数量过多，导致了其均匀度低于 6 月份和 8 月份。

2.2.4　苔原带不同月份昆虫群落物种组成相似性：昆虫群落物种组成的相似性既能反映出不同月份昆虫组成的变化情况和差异性，也能反映出相邻月份的转化速率。对不同月份苔原带昆虫相似性进行计算分析，结果见表 3。

表 3　2005 – 2007 年不同月份长白山苔原带昆虫的相似性系数

Table 3　Similarity coefficient of insects in the tundra zone in Changbai Mountains in different months during 2005 – 2007

月份 Month	6	7	8	9
6	1	0.153	0.097	0.029
7		1	0.185	0.025
8			1	0.081
9				1

从表 3 可以看出，苔原带各月份昆虫的相似性都非常低，最高的 7 月份与 8 月份之间的相似系数也只有 0.185，7 月份与 9 月份的相似性系数最低，为 0.025。根据 Jaccard 的相似性系数原理，各月份之间的昆虫相似性系数很低都处于极不相似水平，即使是相邻的月份间昆虫的相似性系数也非常低。

3　结论与讨论

2005 – 2007 年，在长白山苔原带共采集昆虫 4 634头，隶属于 11 目 105 科 550 种。其中，鳞翅目、鞘翅目、双翅目、膜翅目的种类和个体数量较为丰富。由于 7 月份是苔原带温度较高，植被最丰富，食物资源充足的时期，鳞翅目昆虫成虫羽化期达到高峰。同时，由于温度较高，一些相邻生境中的蝴蝶和蛾类能够扩散到苔原带，使得鳞翅目昆虫的个体数高于其他类群。但随着时间的推移，植被已经趋于枯黄、温度降低，鳞翅目昆虫个体数又迅速降低。鞘翅目在各月份的种类和个体数都较多，其个体数在各月份的变化程度低于其他类群，尤其在自然环境条件较差的 9 月份，其物种数远高于其他类群，对应分析显示鞘翅目昆虫对 9 月份的适应性远高于其他类群，这与鞘翅目昆虫的体壁较厚、坚硬等自身结构特点有关，使其对苔原带恶劣的环境条件具有一定的抵抗力（任国栋等, 2005），因此认为，鞘翅目昆虫对苔原带环境变化有更强的适应能力。膜翅目的部分叶蜂、熊蜂等具有访花习性，因此，在温度较高、开花植物相对多的 7 月份时，膜翅目的丰富度和多度都最高。同时，7 月份时，苔原带绝大多数积雪已经融化，零散的淡水分布能够为双翅目昆虫的生存和繁衍提供条件，同时，它们也具有一定的扩散能力，这增加了采集到这些类群的机会，使得这个时期双翅目昆虫的丰富度较高。苔原带中鳞翅目、鞘翅目、双翅目、膜翅目的物种数与个体数都呈正相关，显示出在这种恶劣的环境条件中，昆虫种群的增长受到限制，即使在条件相对较好的 7 月，对环境条件变化比较敏感的蛾类种群个体数量也没有呈现出爆发性增长（Callaghan, 2004; 尤平和李后魂, 2006），因此，苔原带爆发虫害的潜在风险较低。

在 2005 – 2007 年 7 – 9 月调查期间，苔原带 7 月份物种多样性最高，其次是 8 月份，9 月最低，各月份间昆虫群落群落相似性低，物种组成差异明显。6 月份苔原带温度较低，植被也较少，有些地方积雪尚未融化，但当阳光充足时，地表温度会迅速升高，一些以成虫越冬的昆虫开始活动，如异色瓢虫 *H. axyridis* 和溪舞虻 Clinocerinae sp. 等在有花或阳光充足的地方大量出现。而一些瓢虫、叶甲、叶蜂等能

够主动或被动地向更高的区域扩散，常常在采集过程中在天池水面被发现。7 月份苔原带温度最高、植被种类丰富，且大多数植物开花，适宜大多数昆虫成虫活动和取食，昆虫的种类和个体数量都最多，绿组夜蛾 *A. prasina*、一色兜夜蛾 *C. unicolor*、异灿夜蛾 *Aucha variegata*、步甲 *C. opaculus*、黑埋葬甲 *T. auripilosa* 和双翅目的溪舞虻 Clinocerinae sp. 的数量较为丰富。从 8 月份开始苔原带气温下降，有些植被已经趋于枯黄，一些昆虫种类已经不能适应这种环境，昆虫的数量开始下降，但直翅目的蝗虫数量开始增加，这与苔原带没有高大乔木，光照条件较好，以及蝗虫的生物学特征有关（孙晓玲等，2006），齿匙同蝽 *Elasmucha fieberi*、条纹无翅蝗 *Zubovskia striata*、步甲 *C. opaculus* 的个体数量占优势。9 月份苔原带气温较低、大多数植被已经枯黄，只有少数直翅目条纹无翅蝗 *Z. striata*、半翅目的毛斑蚜属 *Symybobius* sp. 和鞘翅目等昆虫能够生存和活动。

长白山苔原带环境条件恶劣，温度较低，气候多变，植被匮乏，昆虫的生长活动期都短，较短的生长期和贫乏的资源严重的影响着苔原带昆虫的生存（Strathdee and Bale，1998；刘生冬等，2018）。虽然经过 3 年的时间采集，但所采集到的昆虫物种数量仍然较少，远低于长白山保护区内阔叶红松林中昆虫物种数（姬兰柱等，2004；贾玉珍等，2009），显示出长白山苔原带昆虫多样性较低。与北极苔原带双翅目昆虫物种数量最多不同（Jacobs *et al.*，2002），本研究苔原带以鳞翅目、鞘翅目、膜翅目昆虫的物种数最为丰富，这主要由于长白山苔原带植被资源相对丰富，苔原带与相邻的岳桦林带较近，有利于昆虫种群向苔原带扩散，而北极苔原较多的淡水资源对双翅目昆虫的生存与繁殖更为有利（Callaghan，2004）。虽然在苔原带高海拔地方缺乏杨叶甲、柞栎象 *Curculio arakawai*、一色兜夜蛾 *C. unicolor*、绿组夜蛾 *A. prasina* 等植食性昆虫的寄主植物，但在光照充足，温度较高时，这些昆虫还会向高海拔地区扩散，这与一些国外研究部分蛾类和蝶类能够向高海拔的北极苔原区域扩散的现象比较相似（Edwards，1988；Callaghan，2004）。由于苔原带下缘为岳桦林带，苔原带光照条件较好，部分种类可能是由低海拔区域扩散而来，这种现象在访花天牛和蝶类的研究中已经被发现（杨金宽，1992；高文韬等，2005），昆虫的扩散行为对于维持苔原带脆弱的生态环境起着重要作用。苔原带本地物种对生境的适应能力，以及昆虫与苔原植被的相互进化关系有待进一步研究。

参考文献（References）

Callaghan TV，2004. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press，London. 304 – 308.

Chernov YI，Matveyeva NV，1997. Arctic ecosystems in Russia. In：Wielgolaski FE ed. Ecosystems of the World：Polar and Alpine Tundra. Elsevier，Oslo. 361 – 507.

Downes JA，1962. What is an Arctic insect? *Can. Entomol.*，94（2）：143 – 162.

Du XJ，Ren BZ，Wu YG，Yuan HB，2006. Study on flower-visiting insect on the north slope of Changbai Mountain（Ⅰ）– Twenty-three new recording species of Syrphidae flies from Jilin Province. *J. Jilin Agric. Univ.*，28（4）：373 – 375.［杜秀娟，任炳忠，吴艳光，袁海滨，2006. 长白山北坡访花昆虫研究（Ⅰ）——吉林省访花食蚜蝇科昆虫 23 新记录种. 吉林农业大学学报，28（4）：373 – 375］

Edwards JS，1988. Life in the allobiosphere. *Trend. Ecol. Evol.*，3（5）：111 – 114.

Franks F，1985. Biophysics and Biochemistry at Low Temperatures. Cambridge University Press，Cambridge. 25 – 38.

Gao WT，Meng QF，Zheng XB，Zhang YZ，Li Y，2005. Fauna of flower-visiting longicorn beetles in north slope of Changbai Mountain. *Chin. Bull. Entomol.*，42（6）：691 – 695.［高文韬，孟庆繁，郑兴波，张彦焯，李燕，2005. 长白山北坡访花天牛区系研究. 昆虫知识，42（6）：691 – 695］

Hao XL，Ren BZ，Wu YG，Du XJ，Guan ZY，Li N，2006. Research on pollinators in Changbaishan Area（Ⅱ）– Species and distribution of pollinators. *J. Jilin Norm. Univ.*（*Nat. Sci. Ed.*），（3）：61 – 65.［郝锡联，任炳忠，吴艳光，杜秀娟，官昭瑛，李娜，2006. 长白山北坡访花昆虫研究（Ⅱ）——访花昆虫种类与分布. 吉林师范大学学报（自然科学版），（3）：61 – 65］

Huang XC，1999. Progress of researches on alpine tundra in Changbai Mountain. *Sci. Geogr. Sin.*，19（1）：2 – 9.［黄锡畴，1999. 长白山高山苔原研究的进展——献给中华人民共和国建国 50 周年. 地理科学，19（1）：2 – 9］

Huang XC，Liu DS，Li Z，1959. The natural landscape zone on the northern side of Changbai Mountain. *Acta Geogr. Sin.*，25（6）：435 – 445.［黄锡畴，刘德生，李祯，1959. 长白山北侧的自然景观带. 地理学报，25（6）：435 – 445］

Jacobs JD，Luise H，Marilyn A，2002. Climate Change and Tundra/Taiga Ecosystems in the Mealy Mountains of Labrador. Memorial University of Newfoundland，Saint John.

Ji LZ，Dong BL，Wei CY，Wang M，2004. Insect species diversity in Korean pine broad-leaved mixed forest in Changbai Mountains. *Chin. J. Appl. Ecol.*，5（9）：1527 – 1530.［姬兰柱，董百丽，魏春艳，王淼，2004. 长白山阔叶红松林昆虫多样性研究. 应用生态学报，15（9）：1527 – 1530］

Jia YZ，Zhao XH，Meng QF，2009. Insect diversity along a successional gradient in conifer and broad-leaved mixed forests in Changbai Mountain. *Acta Entomol. Sin.*，52（11）：1236 – 1243.［贾玉珍，赵秀海，孟庆繁，2009. 长白山针阔混交林不同演替阶段的昆

虫多样性. 昆虫学报, 52(11): 1236 – 1243]

Li XQ, Zhou J, Zhang YC, 1986. Butterflies vertical distribution in Changbai Mountain. *Jilin For. Sci. Technol.*, (1): 29 – 36. [李雄权, 周济, 张彦成, 1986. 长白山蝶类及其垂直分布. 吉林林业科技, (1): 29 – 36]

Liu SD, Hou GZ, Ai G, 2006. Diversity of Noctuidae in Changbai Mountain National Nature Reserve. *J. Beihua Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), 7(4): 354 – 358. [刘生冬, 侯广忠, 艾国, 2006. 长白山自然保护区夜蛾科多样性研究初报. 北华大学学报(自然科学版), 7(4): 354 – 358]

Liu SD, Meng QF, Gao WT, 2007. Moth diversity in the northern slope of Changbai Mountain Nature Reserve. *J. Northeast For. Univ.*, 35(10): 51 – 53. [刘生冬, 孟庆繁, 高文韬, 2007. 长白山自然保护区北坡蛾类的多样性. 东北林业大学学报, 35(10): 51 – 53]

Liu SD, Meng QF, Li Y, Zhao HR, Cheng GY, Liu Y, Gao WT, 2018. Insect community in different subzones in western slope tundra of Changbai Mountain. *J. Northeast For. Univ.*, 46(1): 80 – 84. [刘生冬, 孟庆繁, 李燕, 赵红蕊, 程广有, 刘音, 高文韬, 2018. 长白山西坡苔原带不同亚带的昆虫群落. 东北林业大学学报, 46(1): 80 – 84]

Qian H, 1992. Alpine tundra vegetation in Changbai Mountain. *For. Ecosyst. Res.*, (6): 72 – 96. [钱宏, 1992. 长白山高山冻原植被. 森林生态系统研究, (6): 72 – 96]

Ren BZ, Wei WJ, Meng QF, 2003. The study of visiting butterflies in Changbai Mountainous Region. *J. Jilin Agric. Univ.*, 25(6): 615 – 620. [任炳忠, 魏文娟, 孟庆繁, 2003. 长白山地区访花蝴蝶的初步研究. 吉林农业大学学报, 25(6): 615 – 620]

Ren BZ, Wu YG, Du XJ, 2006. Research on pollinators in north slope of Changbai Mountain (Ⅲ) – Diversity of pollinators. *J. Northeast Norm. Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), 38(3): 96 – 100. [任炳忠, 吴艳光, 杜秀娟, 2006. 长白山北坡访花昆虫研究(Ⅲ)——访花昆虫多样性. 东北师范大学学报(自然科学版), 38(3): 96 – 100]

Ren GD, Zhang RZ, Shi FM, 2005. Insect Classification and Diversity. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. 133 – 142. [任国栋, 张润志, 石福明, 2005. 昆虫分类与多样性. 北京: 中国农业科学技术出版社. 133 – 142]

Shi Y, Meng QF, Liu SD, 2017. Research advance in insect diversity of tundra zone in arctic and Changbai Mountain. *J. Beihua Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), 18(2): 177 – 181. [施莹, 孟庆繁, 刘生冬, 2017. 北极及长白山苔原带昆虫多样性研究进展. 北华大学学报(自然科学版), 18(2): 177 – 181]

Strathdee AT, Bale JS, 1998. Life on the edge: insect ecology in arctic environments. *Annu. Rev. Entomol.*, 43: 85 – 106.

Sun GY, 2004. Discussion on the tundra in the Tibetan Plateau. *J. Glaci. Geocr.*, 26(2): 121 – 128. [孙广友, 2004. 论青藏高原苔原——成因、分布与分类的研究. 冰川冻土, 26(2): 121 – 128]

Sun XL, Ren BZ, Gao CQ, 2006. Study on ecological adaptability characters of grasshoppers in northern slope of Changbai Mountains, China. *J. Northeast Norm. Univ.* (*Nat. Sci. Ed.*), 38(1): 95 – 99. [孙晓玲, 任炳忠, 高长启, 2006. 中国长白山北坡蝗虫生态适应特性的研究. 东北师范大学学报(自然科学版), 38(1): 95 – 99]

Yang JK, 1980. Preliminary investigation of species and composition of insect on the northern side of Changbai Mountain. *For. Ecosyst. Res.*, (1): 85 – 95. [杨金宽, 1980. 长白山北坡昆虫种类和群落组成调查初报. 森林生态系统研究, (1): 85 – 95]

Yang JK, 1992. Butterflies vertical distribution on the northern side of Changbai Mountain. *For. Ecosyst. Res.*, (6): 165 – 169. [杨金宽, 1992. 长白山北坡的蝶类组成及其垂直分布. 森林生态系统研究, (6): 165 – 169]

You P, Li HH, 2006. Species richness and diversity of moth communities in Tianjin Wetlands: implications for environmental management. *Acta Ecol. Sin.*, 26(3): 629 – 637. [尤平, 李后魂, 2006. 天津湿地蛾类丰富度和多样性及其环境评价. 生态学报, 26(3): 629 – 637]

Zhang YZ, 2005. Study on the Diversity of Insect Communities under the Lamp in Changbai Mountain. MSc Thesis, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei. 7 – 15. [张彦焯, 2005. 长白山地区灯下昆虫群落多样性研究. 河北保定: 河北农业大学硕士学位论文. 7 – 15]

Zhao ZM, Guo YQ, 1990. Community Ecology Principle and Method. Chongqing Bureau of Science and Technology Literature Press, Chongqing. [赵志模, 郭依泉, 1990. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社]

Zhou Y, 2003. Species and distribution of butterflies in Changbai Mountains. *J. Northeast For. Univ.*, 31(1): 64 – 68. [周繇, 2003. 长白山蝴蝶种类、分布及数量的调查. 东北林业大学学报, 31(1): 64 – 68]

(责任编辑: 赵利辉)